

Approximation distribuée du transfert dans un cours d'eau avec débit latéral

Simon Munier (simon.munier@cemagref.fr)
Cemagref Montpellier, TRANSCAN

Dans un contexte de gestion d'un système barrage-rivière, étant donnée la longueur des systèmes gérés il faut prendre en compte la dynamique des cours d'eau. Pour un objectif de gestion en temps réel (commande et observation), le gestionnaire dispose d'outils automatiques relativement précis, mais aussi relativement simples pour pouvoir être utilisés avec les données disponibles. Ces outils utilisent des modèles où le transfert de surface (par les rivières et canaux) est prépondérant, mais où dans certains cas les autres transferts (apports générés par la pluie sur le bassin versant, échanges avec la nappe, prélèvements pour l'irrigation) ne sont pas pour autant négligeables.

Le modèle de transfert de débit traduit le phénomène de propagation dans les écoulements à surface libre décrits par les équations de Saint-Venant. Ces équations aux dérivées partielles constituent un système non-linéaire hyperbolique du premier ordre que l'on ne peut résoudre analytiquement dans le cas général. De nombreux modèles de transfert existent aujourd'hui qui peuvent être utilisés dans un but de contrôle automatique. Une partie de ces modèles sont à base physique (basés sur les équations de Saint-Venant) et font appel à des hypothèses simplificatrices (écoulement uniforme, bief semi-infini, sans débit latéral), d'autres sont des modèles de type "boîte noire" dont les coefficients sont directement calés sur les données réelles et n'ont aucune signification physique, d'autres modèles enfin sont à mi-chemin entre les deux (modèle *lag-and-route* du premier ou deuxième ordre, réservoir quadratique). Ces modèles ont tous des avantages et des inconvénients, chacun étant destiné à un usage particulier. Ainsi, un modèle à base physique a l'avantage d'être relativement générique, puisque basé sur des hypothèses physiques, mais sa validité et sa précision sont liées aux hypothèses effectuées. Un modèle de type "boîte noire" sera également intéressant car il peut être calé sans connaissance a priori sur le système. Cependant, son domaine de validité restera à déterminer.

Le modèle ici présenté est un modèle physique à trois paramètres établi à partir des équations de Saint-Venant simplifiées afin d'obtenir des expressions analytiques de ses coefficients et conserver ainsi un lien avec la physique. Il s'agit en outre d'un modèle distribué, permettant d'obtenir le débit et la hauteur d'eau en tout point du bief, ce qui confère un avantage certain pour au moins deux raisons. La première est que l'on dispose parfois de « mesures intermédiaires, » qui peuvent alors être utilisées dans le calage des paramètres afin d'affiner cette étape. La deuxième est qu'il peut être intéressant, voire parfois nécessaire, de contrôler le débit ou la hauteur d'eau en un point quelconque du bief, ce qui peut être effectué simplement grâce à un modèle distribué. Enfin, la méthode proposée permet de prendre

en compte un débit latéral représentant les apports dus aux pluies, les échanges avec la nappe, les prélèvements, etc.

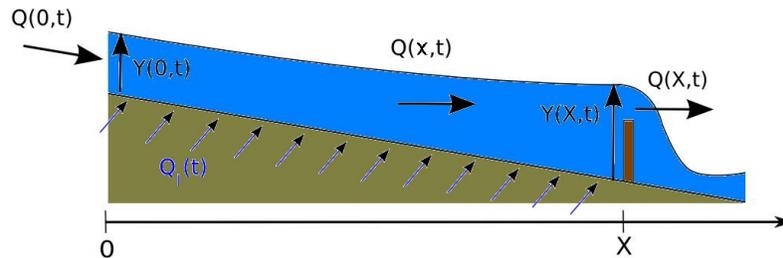


Figure 1 : Schéma de principe du modèle de transfert de débit avec apports latéraux

La figure 1 présente le schéma de principe du modèle de transfert de débit avec apports latéraux. Le bief considéré est supposé prismatique et de section trapézoïdale, de longueur X . Un ouvrage hydraulique peut être présent à l'aval (typiquement un seuil), créant une courbe de remous non uniforme. Le débit latéral peut être ponctuel ou uniformément distribué.

Afin de pouvoir résoudre le système non-linéaire de Saint-Venant, les équations sont dans un premier temps linéarisées autour d'un régime de référence stationnaire mais non nécessairement uniforme. Le système obtenu est ensuite traduit dans le domaine fréquentiel par la transformée de Laplace. Dans le cas d'un écoulement uniforme, la résolution analytique devient possible, permettant d'établir deux matrices de transfert distribuées reliant les variations en débit et hauteur d'eau en un point quelconque du bief d'une part aux variations en débit et hauteur d'eau à l'amont, d'autre part aux variations de débit latéral.

La condition à la limite aval (ouvrage hydraulique à l'aval, ou bief supposé de longueur finie) provoque deux phénomènes distincts. Le premier est la non uniformité du régime d'écoulement (courbe de remous non uniforme), le deuxième le couplage local entre la hauteur d'eau et le débit (feedback). Ainsi la condition à la limite aval a une influence sur la dynamique du bief. Elle est souvent négligée pour obtenir un régime de linéarisation uniforme. Malgré tout, dans certains cas la non uniformité de l'écoulement et le feedback peuvent modifier de manière significative la dynamique du système. Suivant les travaux de Litrico et Fromion (2004), la non uniformité du régime de linéarisation sera obtenue en divisant le bief en deux sous-biefs, le premier étant soumis aux conditions uniformes (à l'amont), le deuxième représentant la partie non uniforme du bief (à l'aval). Ces deux sous-biefs sont ensuite interconnectés en combinant leurs matrices de transfert respectives pour obtenir les deux matrices de transfert du bief entier (celle relative au transfert de débit amont, celle relative au débit latéral). Le feedback est, lui, déterminé par une relation liant le débit à la hauteur d'eau à l'aval du bief. Cette relation est linéarisée, puis couplée aux matrices de transfert de Saint-Venant afin d'établir deux fonctions de transfert distribuées, permettant d'obtenir dans le domaine fréquentiel le

débit en un point quelconque du bief en fonction d'une part du débit à l'amont, d'autre part du débit latéral.

Ces fonctions de transfert ne sont pas inversibles analytiquement dans le domaine temporel. La méthode des moments, développée par Dooge et al. (1987) pour le cas du transfert linéaire sous l'hypothèse du canal semi-infini, permet d'approximer ces fonctions de transfert théorique par des fonctions de transfert du type premier ou deuxième ordre avec retard. Cette méthode permet d'une part d'assurer le bon comportement en basse fréquence des fonctions de transfert approchées et d'autre part de produire des expressions analytiques de leurs coefficients en fonction des caractéristiques du bief étudié.

Le modèle simplifié présenté reproduit avec une bonne précision la dynamique d'un cours d'eau présentant une condition à la limite aval et des apports latéraux. Les principales hypothèses retenues, qui fixent les limites du modèle, sont la linéarisation autour d'un régime stationnaire, l'approximation de la courbe de remous ainsi que l'approximation basse fréquence.

Références :

- Litrico, X. et Fromion, V. (2004). Frequency modeling of open channel flow. *J. Hydraul. Eng.*, 130(8): 806-815.
- Dooge, J., Napiórkowski, J., et Strupczewski, W. (1987). Properties of the generalized downstream channel response. *Acta Geophysica Polonica*, 35: 405-418.